

两种有机蔬菜盛果期土壤呼吸特征的比较

吴丹娜¹, 江洪^{1,2,3}, 黄鹤凤¹, 袁建³

(1. 浙江农林大学 浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室, 浙江 临安 311300; 2. 南京大学 国家地球系统科学研究所, 江苏 南京 210093; 3. 上海多利农业发展有限公司, 上海 201311)

摘要:以“碧玉”黄瓜和“新品春宝”豇豆为试材,探讨2种有机种植蔬菜盛果期土壤呼吸的变化特征,对大棚内的样点进行土壤呼吸的动态监测。结果表明:在相同施肥灌溉等常规田间管理的前提下,黄瓜的土壤呼吸速率平均值高于豇豆的土壤呼吸平均值,分别为 $1.27 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $0.83 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。由于试验阶段高温导致的黄瓜土壤呼吸特征的特殊性,总体来看,黄瓜的土壤呼吸速率与土壤温湿度、大气湿度和气压的关系走势,与豇豆的相应关系走势呈相反趋势。但是回归方程表明,黄瓜和豇豆的土壤呼吸速率分别与土壤 5 cm 温度和大气湿度的变化呈显著指数相关关系 ($P < 0.01$);黄瓜和豇豆土壤呼吸速率与土壤湿度和大气湿度呈显著线性相关关系 ($P < 0.05$);黄瓜土壤呼吸速率与大气压强相关性不显著 ($P > 0.05$),豇豆土壤呼吸速率与大气压强呈正相关,但相关性不显著。

关键词:有机;土壤呼吸速率;盛果期

中图分类号:S 641 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)13-0021-05

在陆地生态系统中土壤是最主要的碳库,而土壤呼吸是陆地植物将吸收的 CO_2 返回大气的基本途径,同时土壤呼吸的强弱直接反应包括植物群落根系呼吸、土壤微生物及动物呼吸 3 个生物学过程和土壤有机物氧化 1 个非生物学过程在内的状况^[1]。据统计,全球范围内耕地面积 13.67 亿 hm^2 , 占全球陆地面积的 10.5%,农业生产活动排放的 CO_2 占人为温室气体排放量的 21%~25%^[2],表明农田生态系统土壤呼吸所释放的 CO_2 已经成为影响全球气候变化的重要的生态学过程。同时,农田生态系统也被认为具有降低大气 CO_2 浓度、缓解温室效应的作用,所以对其研究就全球碳循环研究领域的发展具有重要作用^[3]。农田生态系统是人类活动最活跃

的生态系统,也是受人类干扰最频繁,对人类耕作和田间管理等最敏感的生态系统,对农田生态系统土壤呼吸动态变化的研究,对农田生态系统的稳定以及持续发展具有积极的作用^[1]。近年来,食品安全越来越受关注,有机蔬菜也日益受到人们的青睐,该试验主要是通过对于有机种植菜田土壤呼吸及相关环境因素的定位观测,阐明有机菜田土壤呼吸的动态变化及其与气象因子的相关关系,以期为农田生态系统有机种植版块的碳循环和碳平衡提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于上海多利农业发展有限公司浦东新区大团基地(北纬 $30^\circ 58' 37.78''$, 东经 $121^\circ 46' 20.51''$),属亚热带海洋性季风气候,全年雨量适中,四季分明。最高气温出现在 7、8 月份,7 月份最热,平均气温为 31.8°C ;最低气温出现在 1、2 月份,1 月份最冷,平均气温为 0.3°C 。全年无霜期约为 230 d,年平均降雨量在 1 200 mm 左右,一年中主要的降雨量是集中在 5—9 月的汛期。

1.2 试验材料

供试作物为上海多利农庄大团基地内长势良好的“碧玉”黄瓜和“新品春宝”豇豆。在 2013 年 8 月份下旬,对处于结果盛期的这 2 种蔬菜进行相关指标测定。

基肥使用充分腐熟的自制有机肥,菇渣:鸡粪:蔬菜废弃物=1:4:2,施肥量为 $45\ 000 \text{ kg}/\text{hm}^2$,结合耕翻全耕作层全面施肥。定制后 20~30 d,追施有机

第一作者简介:吴丹娜(1989-),女,浙江宁波人,硕士研究生,研究方向为农田生态系统物联网监测及植物生理生态。E-mail:nbwdn103@163.com.

责任作者:江洪(1955-),男,博士,教授,现主要从事生态系统碳-氮-水循环及全球变化和植物生理生态等研究工作。E-mail:jianghong_china@hotmail.com.

基金项目:国家“973”重点基础研究发展规划资助项目(2011CB302705);上海市战略性新兴产业重大资助项目(重大 2013-14 号);上海市科委 2013 年度“创新行动计划”上海工程技术研究中心建设资助项目(13DZ2250900);2013 年上海市科委生态崇明重点支撑资助项目(13ZJ2104400);国家自然科学基金重大资助项目(61190114 号);上海市农委资助项目(沪农科攻字(2012)第 2-2 号)。

收稿日期:2015-02-05

肥 3 750 kg/hm²;现蕾前 1 周再追施 1 次,施有机液肥 31 500 kg/hm²。除结合追肥进行浇水外,田间水分管理视苗情而定,每次浇水至土表以下 15 cm 潮湿。并在追肥灌水后及时通风换气,降低棚内温度。

1.3 试验方法

在蔬菜大棚内随机设置 3 个 1 m×1 m 的小样方,分别位于大棚的两端和中部,在每个小样方内随机嵌入 1 个 PVC 测试环,深度约为 4~6 cm。为了减少土壤表层的干扰,提前将 PVC 环插入土壤表面,去除环内植物活体,并确保测试环周围不漏气,试验期间环位置不挪动。在 2013 年 8 月份,每隔 10 d 选择天气晴朗的上午,利用 Li-cor8100 开路式土壤碳通量测量系统(Li-cor, Lincoln, NE, USA)短期测量室,对大棚内的样点进行动态监测,多次测量取平均值作为该时段的平均呼吸速率。同时,土壤温度和土壤湿度由该测量系统携带的探针同步测定,探针插入土表 5 cm 深处,分别测得相应位置的土壤温度和土壤体积含水量。大气温度和湿度由 Kestrel 4500 便携式气象测定仪测定。试验时 2 种蔬菜均处于结果盛期。

1.4 数据分析

试验数据经 Excel 2003 处理后使用 SPSS 13.0 软件对其进行处理分析,通过 Excel 2003 绘图。进行处理分析的土壤 CO₂ 通量值均为相应时段多次测量取得的平均值。采用单因素方差分析(one way ANOVA)检验土壤呼吸速率动态变化的显著性。采用指数回归模型分析土壤呼吸速率与土壤温度和大气温度的关系,采用一般线性模型分析土壤呼吸速率与土壤含水量及其它环境因子的关系。

2 结果与分析

2.1 2 种蔬菜土壤呼吸速率的变化规律

由表 1 可以看出,黄瓜的土壤呼吸速率平均值较豇豆的土壤呼吸速率的平均值高,平均值分别为 1.27 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 0.83 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,黄瓜和豇豆的土壤呼吸速率变化范围分别为 0.92~1.54 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 0.51~1.01 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。黄瓜和豇豆的土壤呼吸动态变化如图 1 所示,在试验的时间段里,黄瓜土壤呼吸速率随时间的推移呈减弱的趋势,而豇豆的土壤呼吸速率随时间的推移呈增强的趋势。总体来看,黄瓜的土壤呼吸速率的值较豇豆的土壤呼吸速率的值大。

表 1 2 种蔬菜土壤呼吸速率

Table 1 Two kinds of vegetables' soil respiration rate

蔬菜 Vegetable	土壤呼吸速率 Soil respiration rate		标准差 SD	变异系数 CV/%	样本数 Samples
	平均值 Average /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	变化范围 Variation range /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)			
黄瓜 Cucumber	1.27	0.92~1.54	0.19	15.27	24
豇豆 Cowpea	0.83	0.51~1.01	0.18	21.90	24

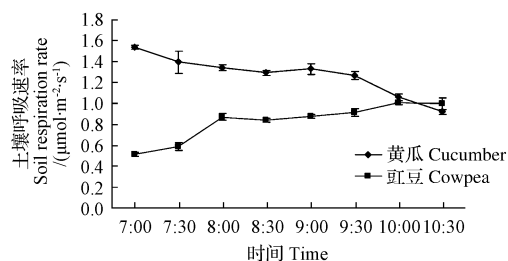


图 1 2 种蔬菜的土壤呼吸动态变化

Fig. 1 Dynamic variation of two vegetables' soil respiration rate

2.2 土壤呼吸与土壤温度的关系

黄瓜和豇豆的土壤呼吸速率与土壤温度的关系如图 2 和图 3 所示。在较短的时间尺度上,黄瓜的土壤呼吸速率随温度的升高而逐渐降低,豇豆的土壤呼吸速率随温度的升高而升高。黄瓜土壤呼吸速率和土壤 5 cm 温度的变化呈显著指数相关关系($R^2=0.7952$, $P=0.001<0.01$),豇豆土壤呼吸速率和土壤 5 cm 温度的变化呈显著指数相关关系($R^2=0.7826$, $P=0.002<0.01$)。黄瓜土壤呼吸速率随着土壤温度的升高而降低如图 2 所示,可能与黄瓜的生理生态特性有关。试验期间,黄瓜大棚内最低气温为 28.1℃,最高气温为 45.8℃,平均气温为 38.25℃,而土壤 5 cm 温度最高可达 50.80℃;豇豆大棚内最低气温 26.9℃,最高气温 40.7℃,平均气温 32.88℃,土壤 5 cm 温度最高为 42.16℃。

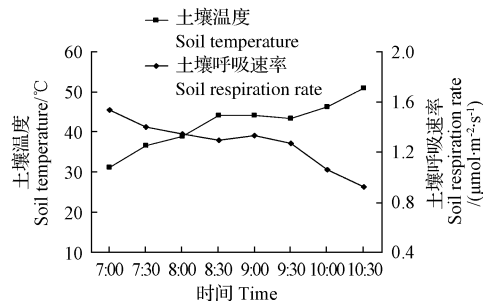


图 2 黄瓜土壤呼吸速率与土壤 5 cm 温度的关系

Fig. 2 Relations between soil respiration rate and the soil temperature at 5 cm depth of cucumber

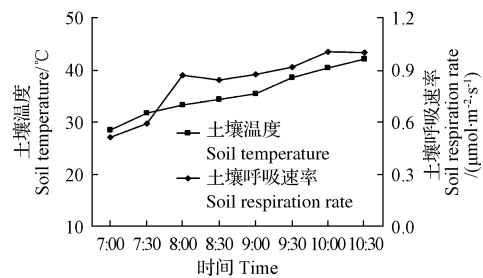
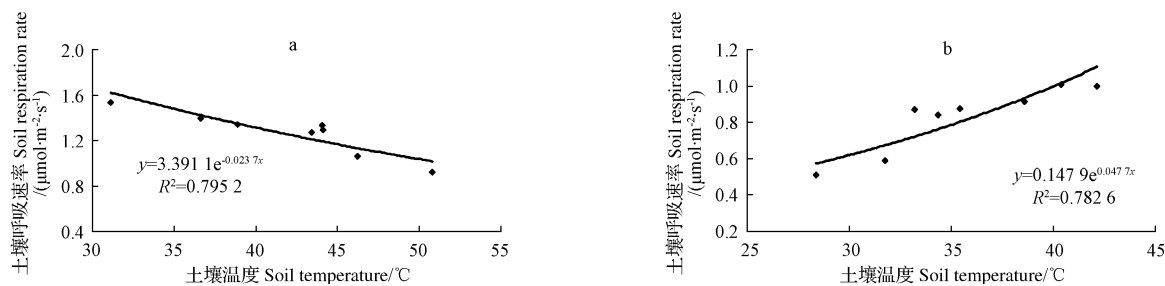


图 3 豇豆土壤呼吸速率与土壤 5 cm 温度的关系

Fig. 3 Relations between soil respiration rate and the soil temperature at 5 cm depth of cowpea



注:a,b 分别代表黄瓜和豇豆的土壤呼吸速率与土壤 5 cm 温度的关系。

Note:a and b respectively represent the relations between soil respiration rate and the soil temperature at 5 cm depth of cucumber and cowpea.

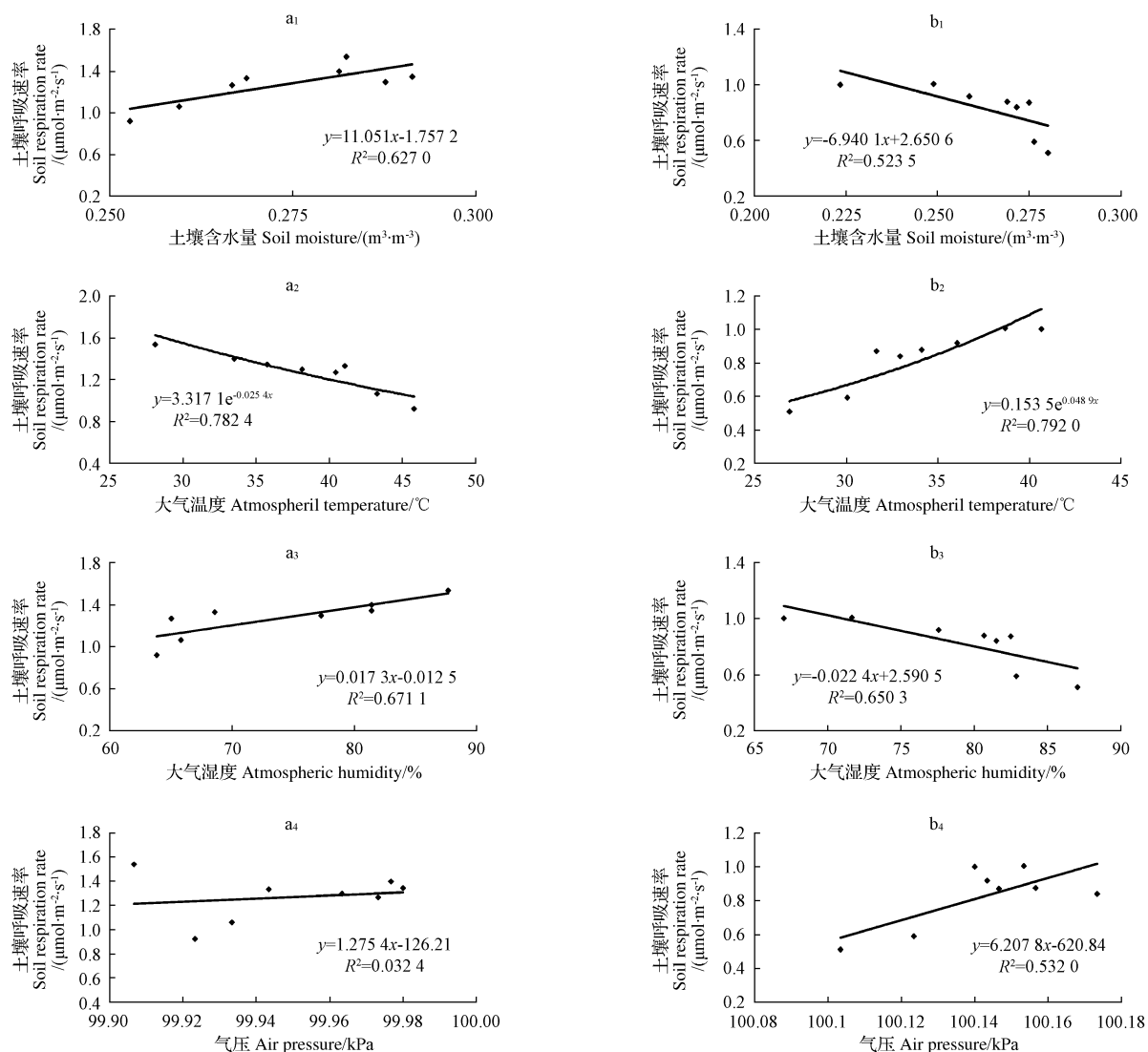
图 4 土壤呼吸速率与土壤温度

Fig. 4 Relations between soil respiration rate and the soil temperature at 5 cm depth

2.3 土壤呼吸与其它环境因子的关系

如图 a1 和图 b1 所示,黄瓜的土壤呼吸速率和土壤

含水量显著正相关($R^2=0.627$, $P=0.021<0.05$),豇豆的土壤呼吸速率和土壤含水量显著负相关($R^2=0.523$ 5,



注:a1、a2、a3、a4 和 b1、b2、b3、b4 分别代表黄瓜和豇豆的土壤含水量,大气温度,大气湿度,气压与土壤呼吸的关系。

Notr:a1,a2,a3,a4 和 b1,b2,b3,b4 respectively represent the relations between soil respiration rate and soil moisture content,atmospheric temperature, atmospheric humidity and air pressure.

图 5 土壤呼吸与环境因子

Fig. 5 Relations between soil respiration rate and environmental factors

$P=0.043<0.05$)。如图 a2 所示,尽管黄瓜土壤呼吸作用受到大棚内高温影响,但土壤呼吸速率与大气温度的关系仍旧表现为指数相关关系($R^2=0.7824$),豇豆的土壤呼吸速率与大气温度也表现为指数相关关系($R^2=0.792$)。该试验发现,土壤呼吸速率和土壤 5 cm 温度、大气温度都表现为显著的指数相关关系,进一步研究发现,黄瓜和豇豆的土壤温度和大气温度的变化规律表现较好的一致性,二者表现为正相关关系($R^2=0.82$)。该试验结果表明,黄瓜的土壤呼吸速率与大气湿度呈显著正相关($P=0.013<0.05$),而豇豆的土壤呼吸速率与大气湿度呈显著负相关($P=0.016<0.05$)。大气压强对土壤呼吸的影响较其它环境因子小,如图 a4 和图 b4 所示,黄瓜土壤呼吸速率与大气压强相关性不显著($P>0.05$),豇豆土壤呼吸速率与大气气压呈正相关,但相关性不显著。

3 讨论与结论

3.1 2 种蔬菜土壤呼吸速率的动态变化特征

试验测得的结果表明,黄瓜的土壤呼吸速率平均值高于豇豆的土壤呼吸平均值,分别为 $1.27 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $0.83 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,可见不同的蔬菜类型对土壤内部环境有一定的影响。而在较短的时间尺度上,黄瓜土壤呼吸速率随时间的推移呈减弱的趋势,而豇豆的土壤呼吸速率随时间的推移呈增强的趋势。有研究认为,农田生态系统土壤呼吸作用大多表现为单峰型曲线^[4],同时也有研究认为,土壤呼吸速率的昼夜变化呈多峰型曲线,导致曲线不同的原因可能是作物类型和当地的气候条件等因素^[2]。另外,对于大棚种植的蔬菜,土壤呼吸速率受到多方面人为因素的影响,其中耕作、排灌和施肥等田间管理活动,会改变土壤有机质的氧化速度,影响蔬菜根系呼吸速率,进而改变土壤中 CO_2 向大气的释放量^[5-7]。

3.2 环境因子对 2 种蔬菜土壤呼吸的影响

有关研究表明,土壤呼吸和土壤温湿度的相关性较好,共同解释了土壤呼吸的 55.8%~96.7%^[8],也有研究根据土壤温度和土壤湿度建立的模拟方程可以解释 54% 的土壤呼吸的季节性变异^[9],而温度是影响蔬菜土壤呼吸的最主要的环境因子,几乎贯穿于土壤呼吸的全过程。黄瓜和豇豆的土壤呼吸速率与土壤 5 cm 温度都呈显著指数相关,靳东升等^[10]对工矿垦区玉米农田土壤呼吸的研究,吴会军等^[11]对不同施肥条件下小麦土壤呼吸的研究,张前兵等^[12]对干旱区棉田土壤呼吸的研究等都得出了相同的结论。

黄瓜土壤呼吸速率随着土壤温度的升高而降低,可能与黄瓜的生理生态特性有关。在黄瓜的开花结果期,最适温度昼温在 25~32℃,夜温在 18~22℃。试验期

间,大棚内最低气温为 28.1℃,最高气温为 45.8℃,平均气温为 38.25℃,超过了黄瓜最适昼温的上限 6℃。有研究表明,在全天当中 10:00 所在的时间段测得的土壤呼吸速率最接近日平均值^[13],而在该时段,黄瓜所在大棚的土壤温度已经达到了 46.2℃,大气温度也达到了 42.3℃,超过黄瓜最适昼温上限 10.3℃,一定程度上影响了黄瓜根系的正常功能,进而抑制了黄瓜根系的呼吸作用^[14]。而豇豆大棚内的平均气温为 32.88℃,低于黄瓜大棚的平均温度近 5℃,豇豆喜温耐热且生长最适温度在 22~32℃^[15],故大棚的温度对其正常的土壤呼吸影响较小。

大量的研究表明,非生物因子中土壤温度、土壤湿度是影响土壤呼吸动态变化的最主要的环境因子^[16],并且在研究进行中,二者的交互作用是难以分开的。当然除土壤温度外,土壤湿度是影响土壤呼吸的重要因素^[9]。同邓爱娟等^[1]对麦田土壤呼吸的研究结果一致,黄瓜的土壤呼吸速率和土壤含水量显著相关($P=0.021<0.05$),豇豆的土壤呼吸速率和土壤含水量显著相关($P=0.043<0.05$)。

除了土壤 5 cm 温度和土壤含水量外,大气温度、大气湿度和大气压强也是导致土壤呼吸变化的重要环境因子。由于试验阶段高温导致的黄瓜土壤呼吸特征的特殊性,总体来看,黄瓜的土壤呼吸速率与大气温湿度和气压的关系走势,与豇豆的相应关系走势呈相反趋势。尽管黄瓜土壤呼吸作用受到高温影响,但土壤呼吸速率与大气温度的关系仍就表现为显著的指数相关关系。豇豆的土壤呼吸速率与大气温度也表现为显著的指数相关关系,这与之前的孟磊等^[17]对冬小麦夏玉米土壤呼吸的研究和高翔^[18]对旱作玉米田土壤呼吸的研究得出的结论相一致。该试验发现,土壤呼吸速率和土壤 5 cm 温度、大气温度都表现为显著的指数相关关系,进一步研究得到,黄瓜和豇豆的土壤温度和大气温度的变化规律表现较好的一致性,二者表现为正相关关系。张庆忠等^[19]、高翔^[18]多数研究表明,大气湿度与土壤呼吸速率不相关。但该研究结果表明,黄瓜的土壤呼吸速率与大气湿度呈显著正相关,与张风霞等^[3]的研究结果相一致;豇豆的土壤呼吸速率与大气湿度呈显著负相关,与吕国红等^[20]的研究结果相一致。大气压强对土壤呼吸的影响较其它环境因子小,试验结果表明,黄瓜土壤呼吸速率与大气压强相关性不显著($P>0.05$),豇豆土壤呼吸速率与大气气压呈正相关,但相关性不显著。

由于大棚的高温,使得黄瓜土壤呼吸作用受到抑制,一定程度上影响了试验的结果,高温也使得大棚内的正常试验受到影响。在进行夏季蔬菜栽培相关试验时,应尽量对大棚使用遮阳网等措施降低大棚温度^[21],适当通风,以减少高温对蔬菜生理生态及试验数据稳定性的影响。

参考文献

- [1] 邓爱娟,申双和,张雪松,等.华北平原地区麦田土壤呼吸特征[J].生态学报,2009,28(11):2286-2292.
- [2] 韩广轩,周广胜,许振柱,等.中国农田生态系统土壤呼吸作用研究与展望[J].植物生态学报,2008(3):719-733.
- [3] 张凤霞,韩娟娟,陈银萍.科尔沁沙地玉米(*Zea mays*)田垄上和垄间土壤呼吸比较[J].中国沙漠,2014(34):378-384.
- [4] 陈述悦,李俊,陆佩玲,等.华北平原麦田土壤呼吸特征[J].应用生态学报,2004,15(9):1552-1560.
- [5] Alvarez R, Alvarez C R, Lorenzo G. Carbon dioxide fluxes following tillage from amollisol in the Argentine Rolling Pampa[J]. European Journal of Soil Biology, 2001, 37(3):161-166.
- [6] Ball B C, Scott A, Parker J P. Field N_2O , CO_2 and CH_4 fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland[J]. Soil and Tillage Research, 1999, 53(1):29-39.
- [7] Reicosky D C, Lindstrom M J. Fall tillage method; effect on short-term carbon dioxide flux from soil[J]. Agronomy Journal, 1993, 85(6):1237-1243.
- [8] 孟春,王立海,沈微.针阔混交林择伐作业后土壤呼吸与土壤温度和湿度的关系[J].东北林业大学学报,2008,36(5):33-35.
- [9] 陈书涛,朱大威,牛传坡,等.管理措施对农田生态系统土壤呼吸的影响[J].环境科学,2009,30(10):2858-2865.
- [10] 靳东升,张强,郇春花,等.不同施肥处理对工矿复垦区玉米农田土壤呼吸的影响[J].现代农业科技,2014(2):257-259.
- [11] 吴会军,蔡典雄,武雪萍,等.不同施肥条件下小麦田土壤呼吸特征研究[J].中国土壤与肥料,2010(6):70-74.
- [12] 张前兵,杨玲,孙兵,等.干旱区灌溉及施肥措施下棉田土壤的呼吸特征[J].农业工程学报,2012,28(14):77-84.
- [13] 王小国,朱波,王艳强,等.不同土地利用方式下土壤呼吸及其温度敏感性[J].生态学报,2007(5):1960-1968.
- [14] 孟令波,李淑敏.高温胁迫对黄瓜生理、生化过程的影响[J].哈尔滨学院学报,2003,24(10):121-125.
- [15] 李衍素.豇豆耐热性研究[D].泰安:山东农业大学,2006.
- [16] 潘根兴,李恋卿,郑聚锋,等.土壤碳循环研究及中国稻田土壤固碳研究的进展与问题[J].土壤学报,2008,45(5):901-914.
- [17] 孟磊,丁维新,何秋香,等.长期施肥对冬小麦/夏玉米轮作下土壤呼吸及其组分的影响①[J].土壤,2008,40(5):725-731.
- [18] 高翔.旱作春玉米田水碳通量变化规律及其影响因素[D].北京:中国农业科学院,2013.
- [19] 张庆忠,吴文良,王明新,等.秸秆还田和施氮对农田土壤呼吸的影响[J].生态学报,2005,25(11):2883-2887.
- [20] 吕国红,温日红,赵秋石,等.种植密度对东北玉米农田土壤呼吸时空动态的影响[J].生态学报,2014,33(2):283-289.
- [21] 李权.高温对黄瓜生殖生长及产量形成的影响[J].园艺学报,2000,27(6):412-417.

Comparative Study of Two Organic Vegetables' Characteristics of Soil Respiration During Full Fruit Period

WU Danna¹, JIANG Hong^{1,2,3}, HUANG Hefeng¹, YUAN Jian³

(1. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration, Zhejiang Agriculture and Forestry University, Lin'an, Zhejiang 311300; 2. International Institute for Earth System Science, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093; 3. Shanghai Tonys Agricultural Development Ltd, Shanghai 201311)

Abstract: Taking 'Biyu' cucumber and 'Xinpimchunbao' cowpea as test materials, the variation of soil respiration of the organic cucumber and cowpea during full fruit period were studied, experiments conducted in the greenhouse monitoring the soil respiration. The results showed that, under the same premise of field management, the average of cucumber soil respiration was higher than that of cowpea, respectively $1.27 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ and $0.83 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Overall, the relationship between soil respiration rate and soil temperature, humidity, air temperature and humidity of cucumber was contrary to the results of cowpea. However, regression equations showed that the relationship between soil respiration rate and the changes of soil 5 cm temperature and atmospheric temperature of cucumber and cowpea were significant index correlations ($P < 0.01$). And the relationship between soil respiration rate and soil moisture and atmospheric humidity of cucumber and cowpea were significant linear correlations ($P < 0.05$). The correlation between soil respiration rate and atmospheric pressure strong of cucumber was not significant ($P > 0.05$), while, that of cowpea was positively correlated, but the correlation was not significant.

Keywords: organic; soil respiration rate; full fruit period